

울산공단 주변의 토양오염에 따른 원생동물의 분포

신만균 · 최기룡
울산대학교 자연대 생물학과
(1996년 2월 15일 접수)

The distribution of protozoans according to soil pollution around Ulsan industrial complexes, Korea

Mann Kyoon SHIN and Kee Ryong CHOI

Department of Biology, College of Natural Sciences, University of Ulsan,
Ulsan 680-749, Korea

(Manuscript received 15 February 1996)

The present study was performed to elucidate the distribution of protozoans according to the actual conditions of soil pollution around Ulsan industrial complexes, Korea. Samples were collected from the top-soils of 13 localities in eight times during the period from 16 April 1994 to 14 January 1995. As a result of this study, total 11 species of hypotrichous ciliated protozoa were identified and analyzed. These hypotrichs are 6 species of stichotrichine hypotrichs (*Keronopsis* sp., *Pseudourostyla* sp., *Holosticha sylvatica*, *Holosticha multistylata*, *Holosticha* sp. and *Paruroleptus* sp.) and 5 species of sporodotrichine hypotrichs (*Oxytricha* sp., *Steinia* sp., *Histiculus cavicola*, *Hemisincirra* sp. and *Gonostomum affine*). Of these 11 species, 4 species (*Keronopsis* sp., *Pseudourostyla* sp., *Holosticha* sp. and *Hemisincirra* sp.) are reported for the first time from Korea. All the sampling localities could be grouped in three zones by the cluster analysis with the abundance and distribution of protozoans. This result is approximately coincide with the zonation by the concentration of heavy metals.

Key words : Protozoa, Hypotrichous ciliates, Heavy metals, Soil pollution, Ulsan, Korea.

1. 서 론

울산 지역에서는 1960년대 이후 한국에서의 산업발달에 따라 공업단지의 확대와 더불어 자동차매연의 폭발적 증가 등에 의하여 발생하는 각종 환경오염의 결과 자연 생태계는 크게 변화되고 있다. 울산 공업단지는 한국에서 가장 오래된 대규모의 중화학 임해 공업단지이다. 또한 울산시내의 온산 해안에는 1970년대 말 이후에 조성된 온산공단이 위치하고 있다. 공업단지 조성으로 인한 인위적인 환경변화와 공장에서 배출되는 각종 오염원으

로 인하여 울산의 자연환경은 변화가 심하여 생태계의 급격한 변동이 일어나게 되었다. 이러한 맥락에서 울산공단(울산공단과 온산공단) 주변의 생태계에 대한 이해의 필요성이 증대되고 있다(국립환경연구소 등, 1981).

최근 환경문제에 대한 인식이 높아짐에 따라 자연생태계에 미치는 환경오염에 관한 연구들이 많이 진행되고 있지만 오염물질의 농도가 낮고 시간적으로 장기간에 걸친 오염의 경우는 본격적으로 연구된 바가 적다. 또한 오염물질의 농도가 높다 할지라도 인간이나 친숙한 생물체에 직접적인 영향

을 미치지 않는 경우에도 마찬가지이다.

환경의 건강한 상태를 평가하는 한가지 기법으로써 생태학적인 연구법이 제안되고 있는데 대상지역에서의 이화학적 요소와 생물학적 요소의 현황 파악 혹은 이화학적 요소의 내용이나 정도를 생물학적 요소와 관련시켜 평가하는 방법인 「생물지표 (biological indicator)」나 「생물측계 (biometer)」의 이용이 부각되고 있다 (Foissner, 1988; Foissner et al., 1991, 1992; Shin & Kim, 1988, 1993; 김·박, 1969; 김·윤·김, 1990; 김·윤·신, 1987; 최 등, 1968).

최근 자연 생태계나 인위적 생태계에서 차지하는 원생동물의 중요성이 여러 학자들에 의해 재평가 되고 있는데, 원생동물은 생태계에서 수도 (abundance)나 생산성 (productivity)이 매우 높을 뿐 아니라, 이들의 섭식활동 (grazing activity or phagotrophic activity)이 매우 왕성한 것으로 평가되고 있다. 또한 원생동물은 산업화의 결과로 오염된 생태계에서 인간에게 유익하게 작용하는데, 이들은 용해유기물 (DOM, dissolved organic matter) 뿐만 아니라 입자유기물 (POM, particulate organic matter)과 박테리아, 조류 (algae), 균류 (fungi) 등을 섭식하는 한편 응집소 (flocculant)라는 물질을 분비하여 박테리아를 용이하게 응집시켜 포식함으로써 유기물 등의 오염을 조절하였다. 특히, 하수처리장에서 활성오니 (activated sludge)를 이용하는 방법은 주로 박테리아와 원생동물의 기능을 활용한 것으로 알려졌다 (Bick, 1972; Madoni, 1981, 1986; Madoni & Antonietti, 1984; Fenchel, 1987). 원생동물의 이러한 중요성에 비추어 보았을 때 한국에서 상대적으로 원생동물에 대한 연구가 미흡한 까닭은 이들의 연구가 용이하지 못하고 우리나라에서는 이들에 관한 분류학적 연구들이 선행되지 못한 데 있다고 할 수 있다. 더구나 공단 주변을 대상으로 한 원생동물에 관한 연구는 전무한 형편이다.

본 연구에서는 울산공단 주변에 서식하는 원생동물을 대상으로 생태계의 오염정도에 따라 서식하는 원생동물의 종류상과 분포상을 밝히는 데에

일차적인 목적을 두었고 나아가 이 자료에 근거하여 환경문제를 해결하는 실마리를 찾는 데 이차적인 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 채집시기 및 채집지점

2.1.1 채집시기

채집시기는 1994년 3월~1995년 2월 사이로 계절마다 평균 2회의 현장채집을 실시하였다. 구체적인 채집일시는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Dates of sampling.

| Dates | Remarks |
|---|---------|
| 16~17 April 1994 2~3 May 1994 | Spring |
| 29~30 July 1994 8~9 August 1994 | Summer |
| 12~13 September 1994 16 November 1994 | Autumn |
| 15~16 December 1994 14~15 January 1995 | Winter |

2.1.2 채집지점

채집지점을 설정하기 위하여 울산공단을 포함한 주변 지역을 오염의 정도에 따라 크게 과오염지역, 오염지역, 비오염지역의 3단계로 구분하였다. 3단계별 오염지역의 구분은 토양의 중금속 농도에 의한 기존의 자료에 근거 하였다 (류, 1992). 3단계의 각 지역에서 4개 이상의 채집지점을 설정하였고 각 채집지점을 중심으로 3지점 이상에서 현장채집을 실시하였다. 구체적인 채집지점은 Table 2에 나타내었고 편의상 St. #를 채집지점의 번호로 표시하였다.

2.2 채집, 배양 및 동정

Table 2. Sampling Stations around Ulsan city according to degree of contamination by heavy metals.

| Zones | Sampling Stations (St. #) |
|--------------------|--|
| Heavy-Contaminated | St. 1: Onsan Station, Onsan-myon, Ulchu-gu |
| | St. 2: Daejong-ri, Onsan-myon, Ulchu-gu |
| | St. 3: Sanam-ri, Onsan-myon, Ulchu-gu |
| | St. 4: Bangdo-ri, Onsan-myon, Ulchu-gu |
| | St. 5: Songam-dong, Nam-gu |
| Meso-Contaminated | St. 6: Kaekok-ri, Chongryang-myon, Ulchu-gu |
| | St. 7: Munchuk-ri, Chongryang-myon, Ulchu-gu |
| | St. 8: Bangojin-dong, Tong-gu |
| | St. 9: Yongjam-dong, Nam-gu |
| Oligo-Contaminated | St.10: Songjung-dong, Chung-gu |
| | St.11: Hasamjong-ri, Dudong-myon, Ulchu-gu |
| | St.12: Hajam-ri, Samdong-myon, Ulchu-gu |
| | St.13: Ichon-ri, Sangbuk-myon, Ulchu-gu |

2.2.1 현장 채집

각 조사정점에서 조사시기별로 토양이나 이끼, 지의류등에 서식하는 원생동물을 채집하여 표본의 일부는 고정액으로 고정시키고 일부는 생체로 채집병, 플라스틱 주머니 등에 담아서 Ice-box에 넣어 실험실로 운반하였다.

2.2.2 배양

실험실로 운반된 채집품은 곧 페트리접시에 옮겨 Zoom stereomicroscope하에서 포식자를 제거해 주며 원생동물을 micropipette으로 분리해 내고 나머지는 저온실에 보관하였다. 분리해 낸 세포는 block dish에서 아래의 여러가지 배양액에 1차적으로 1~2일간 적응배양 (adaptive culture) 시킨 후 2차적으로 하나의 세포만 분리하여 새로 준비한 배양액으로 단배양 (mono-culture)하여 다수의 clone을 준비하였다. * 배양액 : 배양액으로는 Pringsheim solution이나 mineral water 등을 이용하여 Protose-peptone, Timothy hay 등을 0.01~0.1% (w/v)의 농도로 하였다.

2.2.3 염색 및 영구 슬라이드 제작

Bouin's fixative, Glutaraldehyde-osmium, Da Fano's fixative 등 다양한 고정액으로 배양된 원생동물을 고정한 후 증류수로 세척하였다. 세척된 표본을 heating block에서 섬모하부구조 (infracilia-ture)를 관찰하기 위해서 Chatton-Lwoff법, Protargol법, Fernandez-Galiano법 등의 도은법 (silver impregnation techniques)을 혼용하여 염색하였다. 염색된 표본을 Mayer's albumen으로 slide glass에 부착시켰다. 부착된 세포를 alcohol과 xylene으로 탈수시킨 후 canada balsam으로 mounting 하였다. 세포의 핵의 관찰을 위해서 acidified methyl green법과 Feulgen Nucleal stain법을 병용하였다. 이상의 기법을 이용하여 영구슬라이드 표본을 만들었다.

2.2.4 동정 및 분석

표본의 영구슬라이드를 1000배의 현미경하에서 형질을 관찰하여 입수한 문헌에 의거하여 동정하였다 (Curds, 1982; Foissner et al., 1991, 1992; Kudo, 1954; Lee et al., 1985; 신·김, 1993). 동정,

확인된 종들의 종류상을 파악하고 이들의 분포를 분석하였다.

2.2.5 서식지 분석

각 조사지점을 원생동물의 종류상, 다양성, 개체군 밀도를 이용하여 비가중평균결합에 의한 집괴 분석을 실시하였다. 개체군 밀도는 채집하여 건냉시킨 토양 1g을 mineral water 15 ml에서 2일간 raw culture한 것에서 측정된 개체군 밀도를 매개 변수로 하였다 (Rolf, 1988).

3. 결과 및 고찰

3.1 원생동물의 종류

본 연구기간에 동정 분석된 원생동물은 하모섬 모충류 11종으로 이들의 분류목록은 Table 3과 같

다. 이 중에서 *Keronopsis* sp., *Pseudourostyla* sp., *Holosticha* sp., *Hemisincirra* sp. 등의 4종은 한국에서 처음으로 발견되는 한국 미기록종으로서 가치가 있으며 이 종들에 대해서는 분류학적 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다. 채집된 원생동물 가운데서 한국 미기록종과 대표적인 종들을 Fig. 1의 사진으로 나타내었다.

3.2 원생동물의 분포양상

각 채집지점에서 채집시기에 따른 하모류 원생동물의 종류 및 분포양상을 Table 4에 나타내었다. Table 4의 분포양상에서는 채집하여 건냉시킨 토양 1g을 mineral water 15 ml에서 2일간 raw culture한 것에서 측정된 개체군 밀도(개체/ml)로서 기호 “+”는 5개체 이하를, “++”은 6~10개체를, “+++”은 11개체 이상을 나타내었다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 각 채집지점을 3단계의 오염 정도에 따라 나누어 출현하는 종의 수는 평균적으로

Table 3. List of hypotrichs in this study

| |
|---|
| Subkingdom Protozoa |
| Phylum Ciliophora Doflein, 1901 |
| Class Polyhymenophora Jankowski, 1979 |
| Order Hypotrichida Stein, 1859 |
| Suborder Stichotrichina Fauré-Fremiet, 1961 |
| Family Holotichidae Fauré-Fremiet, 1961 |
| 1. <i>Keronopsis</i> sp. |
| 2. <i>Pseudourostyla</i> sp. |
| 3. <i>Holosticha sylvatica</i> Foissner, 1982 |
| 4. <i>Holosticha multistylata</i> Kahl, 1928 |
| 5. <i>Holosticha</i> sp. |
| 6. <i>Paruroleptus</i> sp. |
| Suborder Sporadotrichina Fauré-Fremiet, 1961 |
| Family Oxytrichidae Ehrenberg, 1838 |
| 7. <i>Oxytricha</i> sp. |
| 8. <i>Steinia</i> sp. |
| 9. <i>Histiculus cavicola</i> (Kahl, 1932) |
| 10. <i>Hemisincirra</i> sp. |
| 11. <i>Gonostomum affine</i> (Stein, 1859) |

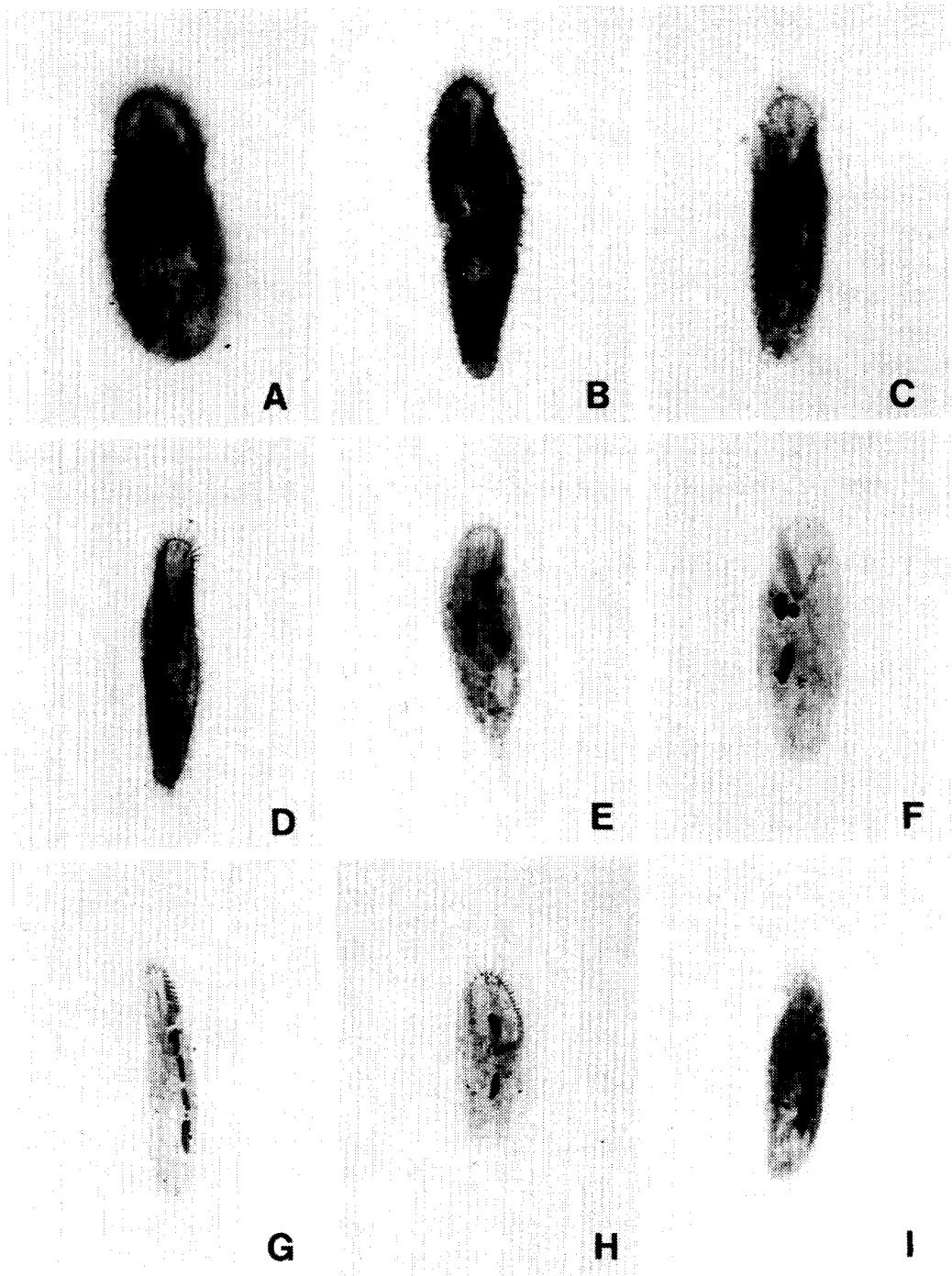


Fig. 1. Representative species of hypotrichs. A. *Keronopsis* sp.; B. *Pseudourostyla* sp.; C. *Holosticha sylvatica*; D. *Holoticha* sp.; E. *Paruroleptus* sp.; F. *Oxytricha* sp.1; G. *Hemisincirra* sp.; H. *Gonostomum affine*; I. *Oxytricha* sp.2.

Table 4. The distribution and density of protozoans in the sampling stations.

| Species name | St.1 | St.2 | St.3 | St.4 | St.5 | St.6 | St.7 | St.8 | St.9 | St.10 | St.11 | St.12 | St.13 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1. <i>Keronopsis</i> sp. | | | | | | ++ | | | | | | | |
| 2. <i>Pseudourostyla</i> sp. | | | | | | + | | | | | | | |
| 3. <i>Holosticha sylvatica</i> | | ++ | ++ | | + | | | | + | + | | | |
| 4. <i>Holosticha multistylata</i> | | | | | | | + | | | + | | | |
| 5. <i>Holoticha</i> sp. | | | | | | + | | | | | | | |
| 6. <i>Paruroleptus</i> sp. | | | | | | | | | | + | | | |
| 7. <i>Oxytricha</i> sp. | | | | | | + | | | | | + | | + |
| 8. <i>Steinia</i> sp. | | | | | | | | | | | | + | +++ |
| 9. <i>Histiculus cavicola</i> | | | | | | | | | | | + | + | |
| 10. <i>Hemisincirra</i> sp. | ++ | | | | | | | | | | | | |
| 11. <i>Gonostomum affine</i> | | | | + | + | | | + | | | | | |

* The symbol “+” means density of protozoans <5 inds/ml, “++” 6~10 inds/ml and “+++” >11 inds/ml.

과오염지역에서 3종, 중오염지역에서 6종, 비오염 지역에서는 6종이 출현하는 것으로 나타났다.

3.3 서식지의 집괴분석

한편, 각 채집지점에서의 원생동물의 종류, 분포와 밀도를 변수로 집괴분석해 본 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 채집지점을 크게 A, B, C의 3단계로 나눌수 있었고, 기존의 중금속 농도로 구분된 지역과 비교하여 각각을 과오염지역 (St. 1, 2, 3, 4), 중오염지역 (St. 5, 7, 8, 9) 및 비오염지역 (St. 6, 10, 11, 12, 13)으로 구분되었다 (류, 1992). 특히, 토양오염의 정도로만 구분하면 St. 6 지점은 중오염지역으로 구분되나 원생동물의 종류나 분포를 고려해 볼 때 St. 6은 St. 10과 가장 유사함으로 밝혀졌다.

한편, 특이한 분포상을 나타내는 원생동물은 *Hemisincirra* sp.로 이중 중금속 오염도가 가장 심한 St. 1에서만 분포함이 밝혀졌다. St. 1 지점은 울산에서도 중금속 오염도가 가장 심한 지역으로 알려져 있다 (류, 1992). 또한 *Oxytricha* sp., *Steinia* sp. 및 *Histiculus cavicola* 3종은 비오염지역에 다수 분포함이 밝혀졌다. 특히 오염이 심한 지역에서도

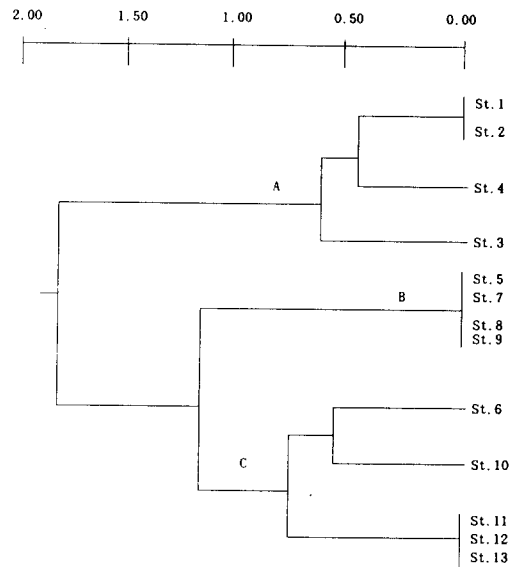


Fig. 2. Cluster of Stations according to distribution and density of protozoans.

서식하는 것으로 밝혀진 종인 *Hemisincirra* sp.와 비오염지역에 서식하는 것으로 밝혀진 종들에 대해서는 차후에 분류학적인 연구와 내성시험 (tolerance test) 등을 거치면 오염 지표종으로써 응용 가능성이 높은 것으로 사료된다.

4. 결 론

울산공단 주변에 서식하는 하모류의 원생동물을 대상으로 종류상과 분포양상을 토양의 중금속 오염도와 비교 분석하였다. 원생동물의 채집은 13개의 채집지점에서 1994년 4월 16일에서 1995년 1월 14일 사이에 실시되었다. 본 연구결과로 총 11종의 하모류 원생동물이 울산공단 주변에 서식함이 밝혀졌다. 울산공단에서 서식하는 하모류 원생동물은 Stichotrichina 아목에 속하는 *Keronopsis* sp., *Pseudourostyla* sp., *Holosticha sylvatica*, *Holosticha multistylata*, *Holosticha* sp., *Paruroleptus* sp. 등 6종 및 Sporadotrichina 아목에 속하는 *Oxytricha* sp., *Steinia* sp., *Histiculus cavicola*, *Hemisincirra* sp., *Gonostomum affine* 등 5종이었다. 이 가운데 *Keronopsis* sp., *Pseudourostyla* sp., *Holosticha* sp., *Hemisincirra* sp. 등 4 종은 한국 미기록종으로서 차후 분류학적 연구가 계속되어야 할 것이다. 하모류 원생동물의 종류와 지점별 분포양상을 분석하여 본 결과 중금속 오염상태와 관련하여 울산공단 주변의 서식지는 크게 3단계의 오염지역으로 집괴분석되었다. 이 결과는 기존의 중금속 농도의 분포양상과 유사하였다.

감사의 글

본 논문은 울산대학교 대학연구비(1994년도)의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- Bick, H., 1972, Ciliated Protozoa, WHO, Geneva, 198pp.
- Curds, C.R., 1982, British and Other Freshwater Ciliated Protozoa, Cambridge Univ. Press, London, 387pp.
- Fenchel, T., 1987, Ecology of Protozoa, Science Tech Inc., Wisconsin, 197pp.
- Foissner, W., 1988, Taxonomic and nomenclatural revision of Sladeczek's list of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 166, 1~64.
- Foissner, W., H. Blatterer, H. Berger and F. Kohmann, 1991, Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichida, Colpodea, Informationsberichte des Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, 466pp.
- Foissner, W., H. Berger and F. Kohmann, 1992, Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems. Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida, Informationsberichte des Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, 502pp.
- Kudo, R. R., 1954, Protozoology, Thomas, Springfield, Ill., 966pp.
- Lee, J.J., S.H. Hutner and E.C. Bovee, 1985, An Illustrated Guide to the Protozoa, Society of Protozoologists, Lawrence, 629pp.
- Madoni, P., 1981, I Protozoi ciliate degli impianti biologici di depurazione, C. N. R. AQ/1/167, Roma, 134pp.
- Madoni, P., 1986, Protozoa in waste treatment systems, Pro. IV ISME, 86~90.
- Madoni, P. and R. Antonietti, 1984, Colonization dynamics of ciliated protozoa populations in an activated sludge plant. In: Atti IV Simposio Dinamica Popolazioni, Parma, 105~112.
- Rolf, F.J., 1988, Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 1.5, Illinois, 182pp.
- Shin, M.K. & H.S. Kim, 1988, Several Hypotrichous Ciliates inhabiting the Han River in Seoul, Korean J. of Syst. Zool, Special issue No. 2, 67~85.

- Shin, M.K. and W. Kim, 1993, New records of three Oxytrichid Hypotrichs (Ciliophora: Hypotrichida: Oxytrichidae) from the Han River in Seoul, Korea. Korean J. Zool., 36, 223~230.
- 국립환경연구소, 환경청, 서울대학교농과대학 및 자연대학, 1981, 공단주변의 생태계에 관한 조사연구, 167pp.
- 김훈수, 박근배, 1968, 상수도 원수의 오염실태 조사와 양질의 청정수를 얻기 위한 동물학적 연구, 과학기술처 연구개발사업 보고서, 69~34(1), 25~41.
- 김훈수, 윤성명, 김원, 1990, 한강의 담수 저서동물에 대한 조사연구. 漢江生態界 調查研究 報告書, 455~544 pp.
- 김훈수, 윤성명, 신만균, 1987, 서울地域 漢江下流의 底棲動物, 漢江生態界 調查研究 報告書, 213~264 pp.
- 류석환, 1992, 분진의 대기확산에 의한 토양의 중금속 오염에 관한 연구, 울산대부설 환경연구소 세미나 자료 3, 1~10.
- 신만균, 김원, 1993, 서울지역 한강의 오염정도에 따른 원생동물의 분포, 한국자연보존협회 연구보고서 제12집, 61~77 pp.
- 최상, 정태화, 곽희상, 1968, 한강의 영양염류 및 주요이온류의 연변화와 그 수질적 고찰, 한국해양학회지, 3(1), 26~38.